

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許出願公告番号

特公平7-82347

(24) (44) 公告日 平成7年(1995)9月6日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 1 0 K 11/178				
E 0 1 F 8/00				
8/02				
			G 1 0 K 11/ 16	H
			E 0 1 F 8/ 00	
				請求項の敬6 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平2-223206

(22) 出願日 平成2年(1990)8月24日

(65) 公開番号 特開平4-500

(43) 公開日 平成4年(1992)1月6日

(31) 優先権主張番号 特願平1-220093

(32) 優先日 平1(1989)8月26日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 999999999

藤原 恭司

福岡県筑紫郡那珂川町王塚台2-172

(72) 発明者 藤原 恭司

福岡県筑紫郡那珂川町王塚台2-172

(74) 代理人 弁理士 永田 武三郎

審査官 田中 秀夫

(56) 参考文献 特開 平2-222999 (J P, A)

(54) 【発明の名称】 能動制御型防音装置

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 二次元の平面的広がりをもつ壁又は壁の上端エッジ近傍への騒音源からの入射音波を検出する第1の手段と、該手段の検出信号から上記入射音波の振幅及び位相を計算し、その計算値より上記入射音波を消去できる振幅を有する音波信号を生成する第2の手段と、該音波信号にตอบสนองして上記入射音波を消去する音波を放射する第3の手段とを備え、第1及び第3の手段は上記壁又は壁に対し騒音源側に設けられたことを特徴とする能動制御型防音装置。

【請求項2】 上記壁又は壁に沿って第1及び第3の手段を複数並設したことを特徴とする請求項(1)に記載の能動制御型防音装置。

【請求項3】 二次元の平面的広がりをもつ壁又は壁の上端エッジ近傍への騒音源からの入射音波の予め計算され

2

た振幅及び位相に基づいた上記入射音波を消去できる振幅を有する音波信号を生成する第1の手段と、該音波信号にตอบสนองして上記入射音波を消去する音波を放射する第2の手段と、を備え、第2の手段は上記壁又は壁に対し騒音源側に設けられたことを特徴とする能動制御型防音装置。

【請求項4】 上記第1の手段が、上記音波信号の振幅を可変し得るように構成されたことを特徴とする請求項(3)に記載の能動制御型防音装置。

10 【請求項5】 二次元の平面的広がりをもつ壁又は壁の上端エッジ近傍への騒音源からの入射音波を検出しその検出値を表示する第1の手段と、上記検出値に対応した入射音波の予め計算された振幅及び位相に基づいた上記入射音波を消去できる振幅を有する音波信号を生成する第2の手段と、該音波信号にตอบสนองして上記入射音波を消去

する音波を放射する第3の手段と、を備え、第1及び第3の手段は上記塀又は壁に対し騒音源側に設けられたことを特徴とする能動制御型防音装置。

【請求項6】前記第3の手段による入射音波の消去効果を評価する手段を備えたことを特徴とする請求項(1)に記載の能動制御型防音装置。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】

本発明は変電所、工場、高速鉄道、高速道路などから発生される騒音を防ぐための防音塀又は壁と共に用いられる能動制御型防音装置に関する。

【発明の概要】

本発明の能動制御型防音装置は騒音源からの入射音波により生ずる防音塀又は壁の上端エッジでの音場を騒音源以外の音源による音場で消去することにより、防音塀又は壁の背後での騒音による音場を低減させるようにしたものである。

【従来の技術】

従来、防音塀の騒音低減性能を上げるためには防音塀の高さを高くすることが基本とされてきた。これに対し高さはそのままにして、その低減性能だけを増加する方法には(1)防音塀の表面を吸音性にする方法、(2)防音塀の厚さを厚くする方法、(3)エッジに音響レンズを取付け、指向性を変化させる方法、(4)エッジに吸音性の円筒状物体を取り付けてエッジのポテンシャルを下げる方法などがある。

(1)の方法では一般の防音塀の使用状況ではその効果は約3dB程度であり、高速道路での使用ではこの効果は上記予測値を確保することも期待できず、単に予測値の保証対策に利用されているのみである。(2)の方法はもちろん効果は大きい、その効果を発揮するには少なくとも対象とする音波の数波長以上の厚さが必要であり、一般に用いられる防音塀の厚さである10cmではその効果は期待できない。(3)の方法では防音塀の影の部分で、かつある程度遠方での音波の干渉を利用するため、受音点の位置により効果の大小が激しい。現在この方法による効果が大きいという評価は聞かない。(4)の方法は近年注目を浴び始めているが、防音塀エッジに取り付けられた吸音性の円筒による効果は約2,3dBであり、この方法によって防音塀の高さを、走行する自動車や列車の窓から風景を楽しめるほどの低さに抑えることはまだ困難である。

【発明が解決しようとする課題】

以上のように従来の技術では防音塀の高さを低く抑えるのは困難であって、現在高速道路や高速鉄道などでは3mから5mもある防音塀が用いられており、変電所などでも5m～10mもの高さのある塀が用いられている。

しかし、上記の最後の方法(4)に着目してみると、この方法は防音塀のエッジでのポテンシャルを下げることを特徴としており、それを吸音性の円筒に頼っているわ

けであり、実用性に乏しく実効も疑わしい。ところで同じポテンシャルを下げるには別の方法がある。すなわち最近各方面で取り上げられている能動制御の方法を採用することである。

例えば、特開昭63-276100号に開示された騒音制御方式をあげることができる。しかしこの方式はダクトに関するものであり、ここで問題としている塀又は壁の防音の能動制御については未解決である。

【発明の目的】

従って本発明の目的は防音塀又は壁の新規な能動制御装置を提供するにある。

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、第1の発明による能動制御型防音装置は、二次元の平面的広がりをもつ塀又は壁の上端エッジ近傍への騒音源からの入射音波を検出する第1の手段と、該手段の検出信号から上記入射音波の振幅及び位相を計算し、その計算値より上記入射音波を消去できる振幅を有する音波信号を生成する第2の手段と、該音波信号に应答して上記入射音波を消去する音波を放射する第3の手段と、を備え、第1及び第3の手段は上記塀又は壁に対し騒音源側に設けられたことを要旨とする。

また第2の発明による能動制御型防音装置は、二次元の平面的広がりをもつ塀又は壁の上端エッジ近傍への騒音源からの入射音波の予め計算された振幅及び位相に基づいた上記入射音波を消去できる振幅を有する音波信号を生成する第1の手段と、該音波信号に应答して上記入射音波を消去する音波を放射する第2の手段と、を備え、第2の手段は上記塀又は壁に対し騒音源側に設けられたことを要旨とする。

更に第3の発明による能動制御型防音装置は、二次元の平面的広がりをもつ塀又は壁の上端エッジ近傍への騒音源からの入射音波を検出しその検出値を表示する第1の手段と、上記検出値に対応した入射音波の予め計算された振幅及び位相に基づいた上記入射音波を消去できる振幅を有する音波信号を生成する第2の手段と、該音波信号に应答して上記入射音波を消去する音波を放射する第3の手段と、第1及び第3の手段は上記塀又は壁に対し騒音源側に設けられたことを要旨とする。

【作用】

上述した各発明の構成によれば、騒音源からの入射音波による防音塀又は壁の上端エッジでの音場を、消去することができ、防音塀または塀背後での上記入射音波による音場を効果的に低減させることができる。

【実施例】

以下、まず、本発明の能動制御の原理を説明するが、話を分かりやすくするため二次元音場を例にとり、数式及び図面を用いて説明する。

第1図のように半無限障壁Bの左側から円筒波が騒音源Sから障壁Bに向かって放射されているとする。受音点

5

Mは騒音源Sと反対側にあり、障壁、騒音源、受音点間の位置関係は図の通りであるとする。また騒音源Sの障

6

\*壁Bによる像音源をSiとし、kは波数 $k = 2\pi/\lambda$ である。入射円筒波を

$$U_i = \frac{1}{\sqrt{[8\pi k R]}} \exp\left(jkR + \frac{j\pi}{4}\right) \quad (1)$$

としたとき、障壁背後の受音点Mでの回折音波は

$$U_d = \frac{j \exp[jk(\rho_0 + \rho)]}{8\pi k \sqrt{[\rho_0 \rho]}}$$

$$\times \left| \sec \frac{1}{2}(\alpha - \beta) + \operatorname{cosec} \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \right| \quad (2)$$

で与えられ、いまもう一つの付加音源S'を角度 $\alpha$ をSと同じに保って障壁Bの上端エッジ近傍に設置すると、\*

\*その音源S'からの入射円筒波を

$$U_{i'} = \frac{A}{\sqrt{[8\pi k R']}} \exp\left(jkR' + \frac{j\pi}{4}\right) \quad (3)$$

とすれば、それによる受音点Mでの回折音波は

$$U_{d'} = \frac{j A \exp[jk(\rho_0' + \rho)]}{8\pi k \sqrt{\rho_0' \rho}}$$

$$\times \left| \sec \frac{1}{2}(\alpha - \beta) + \operatorname{cosec} \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \right| \quad (4)$$

で与えられる。

★の上端エッジでの騒音ポテンシャルを最小化できる。そ

これら2つの音源による受音点Mでの回折音波の和( $U_d$  の和は

$+U_{d'}$ )を最小にすれば能動制御によって防音塀又は壁★

$$U_d + U_{d'} = \frac{j \exp(jk\rho)}{8\pi k \sqrt{[\rho]}} \left[ \frac{\exp(jk\rho_0)}{\sqrt{[\rho_0]}} + A \frac{\exp(jk\rho_0')}{\sqrt{[\rho_0']}} \right]$$

$$\times \left| \sec \frac{1}{2}(\alpha - \beta) + \operatorname{cosec} \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \right| \quad (5)$$

となるので、この和が最小になるのは係数Aを含む項が★ ★ゼロになれば良い。すなわち、付加音源S'の振幅を

$$A = \sqrt{[\rho_0' / \rho_0]} \exp[jk(\rho_0 + \rho_0' + \pi)] \quad (6)$$

のように調整すれば障壁Bの背後での回折音場はゼロとなり、理論上無限大の騒音低減効果が得られる。

◆このことは別の観点から次のようにも説明できる。まず騒音源Sからエッジの位置への入射音波の寄与は

$$U_i \Big|_{R=\rho_0} = \frac{1}{\sqrt{[8\pi k \rho_0]}} \exp\left(jk\rho_0 + \frac{j\pi}{4}\right) \quad (7)$$

であり、付加音源  $S'$  からの寄与は

$$|U_i'|_{R'=p_o'} = \frac{\Lambda}{\sqrt{[8\pi k p_o']}} \exp(jk p_o' + \frac{j\pi}{4}) \quad (8)$$

であるので、式(6)が成立することは式(7)、

(8)の和がゼロになること、即ち障壁Bの上端エッジでの騒音ポテンシャルがゼロになることと等価である。第2図はかかる本発明の原理に基づく能動制御型防音装置の一実施例を示す。

同図において、1は防音塀Bの上端エッジ近傍に設置したマイクロホン、2は前置増幅器、3はデジタル・ジグナル・プロセッサ(DPS)、4は電力増幅器、5はスピーカ、6は効果評価用マイクロホン、7は前置増幅器、8は制御用コンピュータである。

また騒音源Sは防音塀Bの上端エッジEからある程度はなれた位置にあるとし、受音点Mは防音塀Bの背後Mにあるものとする。

マイクロホン1は騒音源Sから防音塀Bに対する入射音波を検出し、その検出信号がDPS3に入力される。DPS3はこの検出信号から上記入射音波の振幅と位相を瞬時に計算し、その計算値に基づいて前記式(6)の振幅を有する音波信号を生成し、エッジ近傍に設置されたスピーカ5に送って音波を騒音源Sに向けて放射し、エッジでの騒音ポテンシャルを消去する。

このようにして上述した装置により実時間計算により防音塀Bの上端エッジの騒音源Sからの入射音波を予測し、この予測値に基づいて付加音源から消去用の音波を発生させる訳であるが、更にこの消去の効果はエッジEに設けられた効果評価用マイクロホン6により確認しながら行なわれる。

即ち、マイクロホン6の出力信号は前置増幅器7を介してDPS3に入力され、DPS3ではこの出力信号に基づいて消去の効果を評価し、この効果が不十分の場合には前記音波信号を修正しながらエッジでの騒音ポテンシャルを消去して行く。制御用コンピュータ8はDPS3の動作を制御する。

なお、上記実施例において、付加音源としてのスピーカ5は必ずしもエッジEの近傍に設置する必要はないが、エッジEに近ければ近い程、スピーカ5からの放射音は小さくてよく、従ってその供給電力も少なくてすむことになる。

実際の道路のように点状騒音源と見なせる車両が線状に並んでいる場合や、変電所のように比較的大きな騒音源がある場合でも、それら騒音源からの合成波を防音塀Bのエッジの近傍で計測し、防音塀B上端エッジでの騒音ポテンシャルを予測し、そのポテンシャルを打ち消す音波をスピーカから放射すれば良く、基本的には円筒波の場合と同様である。実際には三次元音場であるので防

音塀の長さ方向に沿ってある有限長の長さ毎に上記二次元音場での能動制御システムを用意し、エッジの音場を最小にすればよい。そのためには検出用及び評価用マイクロホンも付加音源としてのスピーカと同数必要となり、それらは複数組毎にコンピュータにより連動させ、エッジに沿った音場を消去するようにする。

第3図はかかる概念による実施例で、 $S_1 \cdots S_k \cdots$ は線状に並んだ各点状騒音源、 $1-1, 1-2, 1-3, \cdots 1-k \cdots$ は入射音波検出用マイクロホン、 $2-1, 2-2, 2-3, \cdots 2-k \cdots$ は夫々の前置増幅器、 $4-1, 4-2, 4-3, \cdots 4-k \cdots$ は電力増幅器、 $5-1, 5-2, 5-3, \cdots 5-k \cdots$ は付加音源としてのスピーカ、 $6-1, 6-2, 6-3, \cdots 6-k$ は効果評価用マイクロホン、 $7-1, 7-2, 7-3, \cdots 7-k \cdots$ は夫々の前置増幅器で、防音塀Bの上端エッジEの近傍に第2図に示す能動制御システムがエッジに沿って複数組並設される。各組のシステムは制御用コンピュータ8の制御に従って前述した消去動作を行なって各騒音源による防音塀上端エッジの騒音ポテンシャルを消去する。

なお、上述した第2図及び第3図の実施例は騒音源が可変な場合でも充分対応できる構成であるが、ある程度固定的な場合は予め前記騒音消去用の音波信号を求めておくことができるので、第4図に示す非常に簡易な構成でも実用上かなりな効果が期待できる。

第4図において、10はスイッチ、11は音波信号発生装置で、この装置11はスイッチ10をオンにすると、予め計算された振幅を有する音波信号をスピーカ5に送り、エッジEでの騒音消去用の音波を放射する。この場合、装置11には手動つまみ12を設けておき、ある程度、音波信号の振幅を可変できるようにしておくのがよい。

あるいは第5図に示す如く、マイクロホン1から出力される入射音波の検出信号をメーター13に表示させ、その表示値に応じて上記つまみを調整してもよい。

またこれらの防音塀としては、塀自身の性質はあまり問題ではなく、表面が吸音性でも、剛な反射面でも、またソフトな反射面でもよい。要するに防音塀エッジの音場を能動制御により消去できるようにすればよいのである。

更に本発明の能動制御システムは塀だけでなく、建物の壁を対象として建物内部の防音を図る場合にも有効に適用できる。

なお、前述した本発明の原理説明では話を分かりやすくするために回折場を表す式として近似式を用いたが、実際には騒音源と付加音源の寄与を含めた音場を表す式は式(9)のようにやや複雑である。

9

10

$$U_d = P_D(\rho_0, \alpha, \rho, \beta) +$$

$$\left(-\sqrt{\frac{\rho_0'}{\rho_0}}\right) e^{-jk(\rho_0 - \rho_0')} P_D(\rho_0', \alpha, \rho, \beta)$$

(9)

$$\text{ここで } P_D(\rho_0, \alpha, \rho, \beta) = -\text{sgn}\left[\cos\frac{\alpha - \beta}{2}\right] \sqrt{\frac{2}{\pi}} e^{j\frac{\pi}{4}} \frac{e^{-jKR}}{\sqrt{k(R_1 + R)}} F[\sqrt{k(R_1 - R)}]$$

$$-\text{sgn}\left[\cos\frac{\alpha + \beta}{2}\right] \sqrt{\frac{2}{\pi}} e^{j\frac{\pi}{4}} \frac{e^{-jKR'}}{\sqrt{k(R_1 + R')}} F[\sqrt{k(R_1 - R')}]$$

$$F(a) = \int_0^\infty \exp(-j\lambda^2) d\lambda, \quad R_1^2 = (\rho_0 + \rho)^2$$

この式を用いて二次元音場での本発明による防音壁を用いたことによる防音壁背後の騒音低減効果を第6図に示す。この図に示される値は付加音源をオン、オフすることによる防音壁背後での音圧レベル差である。騒音源の周波数はこの分野での代表とされる500Hzとした。騒音源、付加音源、防音壁の位置関係は第5図に示す通りである。この結果によれば防音壁背後では二十数デシベルの効果は期待できる。

騒音源、付加音源、防音壁について第7図と同じ位置関係に対し1/10模型実験を試みた。模型であるので騒音源と防音壁のエッジとの距離は50cm、付加音源とエッジの距離は10cmである。騒音源の周波数は10倍の5kHzである。その結果は第8図に示す通りで、第6図の計算値と\*

\*は定在波を生じていることを除けば比較的よく一致しており、本発明の有効性が確認できる。

またこれを三次元問題に拡張した場合で、防音壁背後水平面内騒音低減効果分布の数値計算結果を第9図に示す。この値は受信側で、エッジから下に2m下がった平面内での分布である。この場合の計算に用いた基本回析式は式(10)である。騒音源は防音壁から5mの距離、そして付加音源は防音壁エッジと騒音源を含む平面内で、エッジから1m離れて20cm間隔でエッジに平行に並んでいる。三次元の場合においてもこのように二十数デシベルの騒音低減効果があり、従来の防音壁でこれらの効果を得るには非常に背の高いものとなる。

$$U_d3 = -\sqrt{\frac{2}{\pi k R_1}} e^{-j\frac{\pi}{4}} \left\{ \text{sgn}(\pi + \alpha - \beta) \frac{e^{jKR}}{\sqrt{k(R_1 + R)}} F[\sqrt{k(R_1 - R)}] \right.$$

$$\left. + \text{sgn}(\pi - \alpha - \beta) \frac{e^{jKR'}}{\sqrt{k(R_1 + R')}} F[\sqrt{k(R_1 - R')}] \right\}$$

(10)

ここで  $R_1^2 = (\rho + \rho_0)^2$  である。

11

以上の説明が明らかなように、本発明によれば、防音壁又は壁のエッジの音場を能動制御システムにより最小にすることができ、影の部分における音場はこのエッジの音場に依存しているので、防音壁又は壁の高さに関係なく影の部分では大きな騒音低減効果を期待できる。すなわち本発明による防音装置を用いれば、受音点からみて音源を隠しさえすれば従来よりも大きな低減効果が得られることになる。道路交通騒音を例にとるならば最早従来のような3m以上もあるような防音壁は必要でなく、受音点の位置や音源の高さにもよるがせいぜい1m程度でよい。これにより車窓から充分景色も眺められ、周囲には騒音を排出しなくても済むことになる。

#### 【図面の簡単な説明】

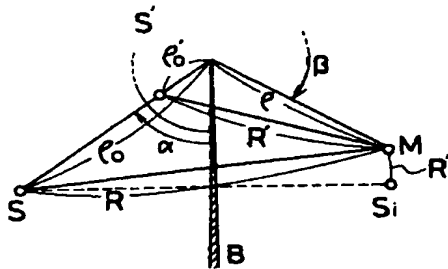
第1図は本発明の騒音消去の原理説明図、第2図は本発明の一実施例を示すブロック図、第3図、第4図及び第5図は夫々本発明の他の実施例を示すブロック図、第6図は二次元音場での本発明の装置の防音壁背後における\*

12

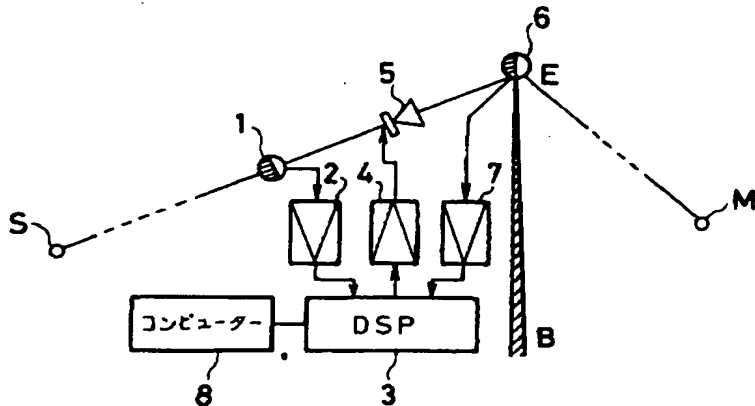
\*騒音低減効果分布図、第7図は第6図の値を計算したときの騒音源、防音壁、付加音源配置図、第8図は1/10模型を用いて第1図の条件に対応する実測データ図、第9図は音場を三次元に拡張した場合の本発明の防音壁背後における騒音低減効果水平分布図である。

- 1: マイクロホン
- 2: 前置増幅器
- 3: DSP (実時間計算機)
- 4: 電力増幅器
- 5: スピーカ
- 6: 効果評価用マイクロホン
- 7: 前置増幅器
- 8: 制御用コンピュータ、
- S: 音源
- M: 受音点
- B: 防音壁
- E: 防音壁のエッジ

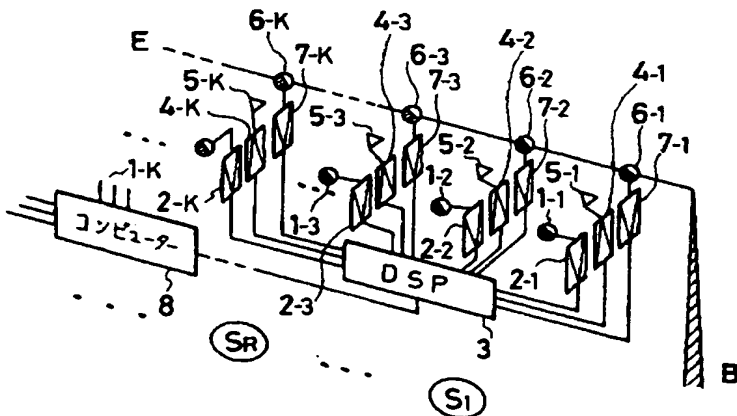
【第1図】



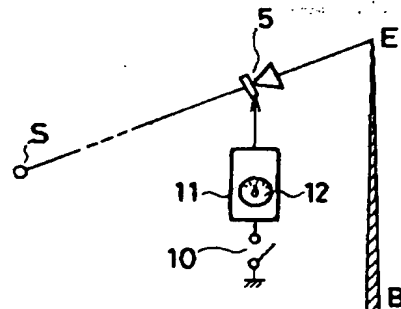
【第2図】



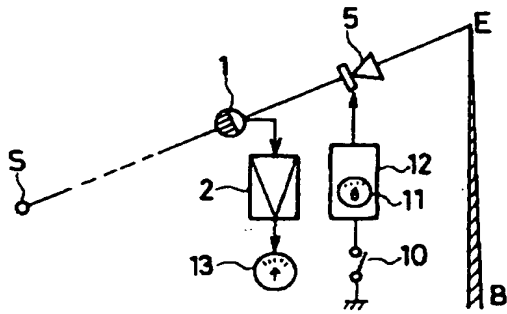
【第3図】



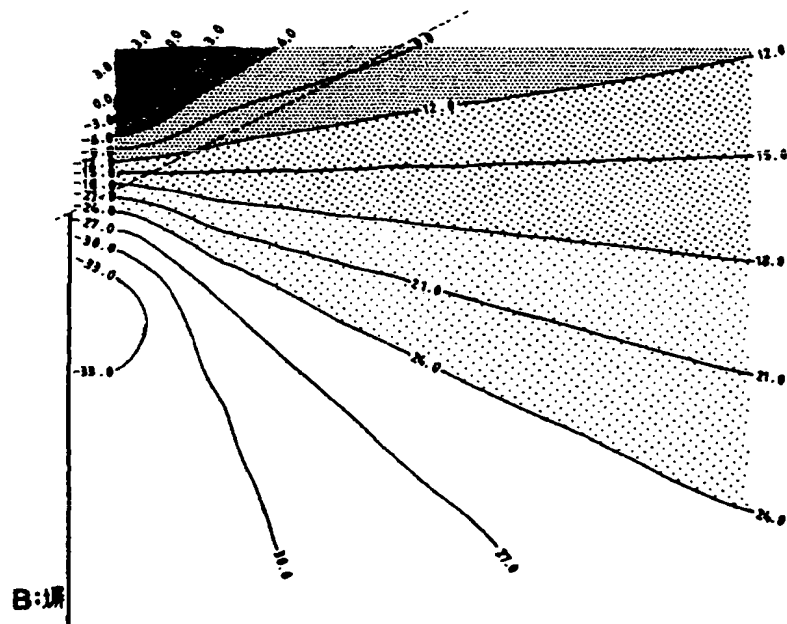
【第4図】



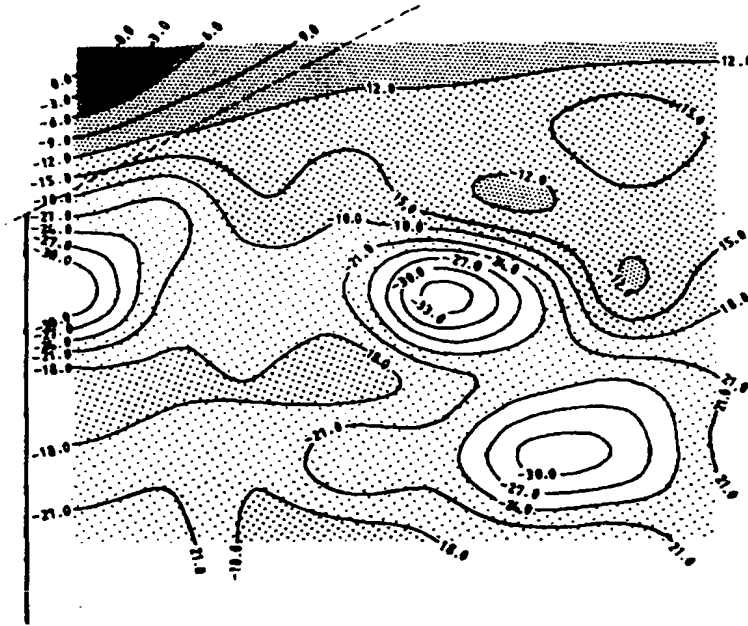
【第5図】



【第6図】



【第 8 図】



【第 9 図】

